

# JURNAL

## SAINS DAN TEKNOLOGI FT UKI

• ELEKTRO • MESIN • ARSITEKTUR • SIPIL •



Masalah Kaki Lima dan Prospeknya dalam Keberlanjutan Masyarakat Kota  
*Mediana Uguy*

Esensi Arsitektur  
*Bambang Erwin*

Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Analisis Peralihan Beban (Studi Kasus di Surabaya)  
*Lolom Evalita Hutabarat*

Behaviour of a SDOF Reinforced Concrete Model Under Pseudodynamic and Quasy-static Cyclic Loading Test  
*Ika Bali*

Metode Slope Minimum dan Metode Konsentrasi Sedimen Maksimum sebagai Alternatif Pendimensian Saluran  
*Setiyadi*

Seleksi *Dryer* Dalam Industri Makanan Menggunakan Program Macro Lotus-123  
*Jusuf Anggono*

Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Tenaga Listrik di Indonesia : Implikasinya Terhadap Lingkungan dan Ekonomi  
*Charles O.P. Marpaung*

Pemanfaatan Kamera untuk Sistem Pengaman  
*Harlianto Tanudjaya*

I S S N : 0853 - 9723

Thn. XI No. 24, Februari 2001

E  
M  
A  
S

## **SUSUNAN REDAKSI**

**Pimpinan Umum/Penanggungjawab :**  
Dekan Fakultas Teknik UKI

**Anggota :**  
Pembantu Dekan I, II, III FT UKI  
Ketua Jurusan Elektro, Mesin, Arsitektur,  
Sipil FT UKI

**Staf Ahli :**  
Prof. Dr. Ing. K. Tunggul Sirait  
Prof. Dr. Ir. Sularso, MSME.  
Prof. Dr. Ir. H. M. Surjono S., MSF.  
Prof. Dipl. Ing. Suwondo B.S.  
Dr. Ir. Wibowo Paryatmo, MSc.  
Dr. Ing. Ir. Uras Siahaan, lic. rer. reg.  
Atmonobudi Soebagio, Ph.D., MSEE.

**Redaktur Pelaksana :**

**Pimpinan Redaksi :**  
Ir. S.M. Doloksaribu, M. Ing.

**Sekretaris Redaksi :**  
Ir. Ika Bali, M. Eng.

**Anggota Redaksi :**  
Dr. Ir. Charles O.P. Marpaung, MS.  
Ir. Erikson Samosir, MT.  
Ir. Mediana Uguy, M.Si.  
Ir. Lolom Evalita Hutabarat, MT.

**Sekretaris :**  
Floura Latumeten, SH.  
Kemo Suharsoyo

**Korespondensi :**  
Sekretaris/Ka. Lab./Studio Jurusan Elektro,  
Mesin, Arsitektur, dan Sipil FT UKI

**Alamat Redaksi :**  
Fakultas Teknik UKI  
Jl. Mayjen Sutoyo, Cawang,  
Jakarta 13630

Telepon : (021) 809 2425  
Fax : 809 3948

**Nama Rekening :**  
Bank INA No. Rek : 70619.44001.81

ISSN : 0853 - 9723

TERBIT EMPAT KALI SETAHUN

## **EDITORIAL**

Pembaca yang budiman,

Kami kembali hadir di tengah-tengah pembaca melalui Edisi No. 24 ini.

Edisi ini kami persiapkan sambil mempersiapkan dan menunggu hasil akreditasi jurnal ini. Kami berharap akan ada peningkatan melalui proses akreditasi yang kami ikuti.

Edisi ini memuat 8 (delapan) tulisan masing-masing 1 (satu) mengenai peraturan masyarakat kota; 1 (satu) mengenai dunia arsitektur; 2 (dua) mengenai uji beban pada struktur beton dan pondasi tiang; 1 (satu) mengenai pendimensian saluran; 1 (satu) mengenai seleksi pengering (dryer); 1 (satu) mengenai pengurangan emisi CO<sub>2</sub> pada sektor tenaga listrik; 1 (satu) mengenai perancangan sistem pengamanan museum dengan kamera.

Selamat membaca.

Salam  
Redaksi

ISSN : 0853 - 9723

Thn. XI No. 24, Februari 2001

**JURNAL**  
**EMAS**  
SAINS DAN TEKNOLOGI FT UKI  
• ELEKTRO • MESIN • ARSITEKTUR • SIPIL •



**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA**  
**JAKARTA**

# DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN ANALISIS PERALIHAN BEBAN (STUDI KASUS DI SURABAYA)<sup>1</sup>

Lolom Evalita Hutabarat<sup>2</sup>

## ABSTRACT

*Bearing capacity of pile foundation is the most important factor that has to be considered in the stage of design for construction project. In many projects, bearing capacity design used for determining allowable working load of structure based from static analysis of shear strength parameters like cohesion (c) and internal friction angle ( $\phi$ ) taken from laboratory testing, then examined with insitu loading test. Recently, another method that has been developed is based from load transfer mechanism on the pile-soil system to determine bearing capacity design that will be used for pile foundation.*

## ABSTRAK

*Daya dukung pondasi tiang merupakan faktor terpenting yang harus dipertimbangkan dalam tahapan disain suatu proyek konstruksi. Dalam banyak proyek, daya dukung disain yang digunakan untuk menentukan beban kerja yang diizinkan pada pondasi didasarkan pada analisa kuat geser tanah statik dengan menggunakan parameter kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) yang didapatkan dari uji laboratorium, kemudian dilakukan uji pembebanan di lapangan. Metode lain yang sekarang ini, juga sudah dikembangkan adalah berdasarkan mekanisme peralihan beban pada sistem tiang-tanah untuk menentukan daya dukung disain yang akan digunakan pada pondasi tiang.*

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan pondasi tiang pancang dalam bidang konstruksi bangunan khususnya bangunan gedung bertingkat tinggi (*high rise building*) di kota-kota besar sudah begitu umum, termasuk dalam proyek pembangunan sebuah mall di daerah Tunjungan - Surabaya. Mengingat dalam proyek tersebut beban struktur yang bekerja pada pondasi diperkirakan cukup besar maka faktor yang paling kritis adalah

menentukan daya dukung izin sebagai dasar dalam menentukan beban kerja rencana yang diizinkan pada pondasi tersebut.

Dalam menentukan daya dukung tentunya dibutuhkan suatu studi menyeluruh tentang kondisi perlapisan tanah serta parameter kuat geser dari tanah tersebut untuk dianalisis menggunakan formula daya dukung statik yang ada seperti yang diberikan oleh Meyerhoff (1951,1976), Coyle & Castello (1981) ataupun Vesic (1977) yang

---

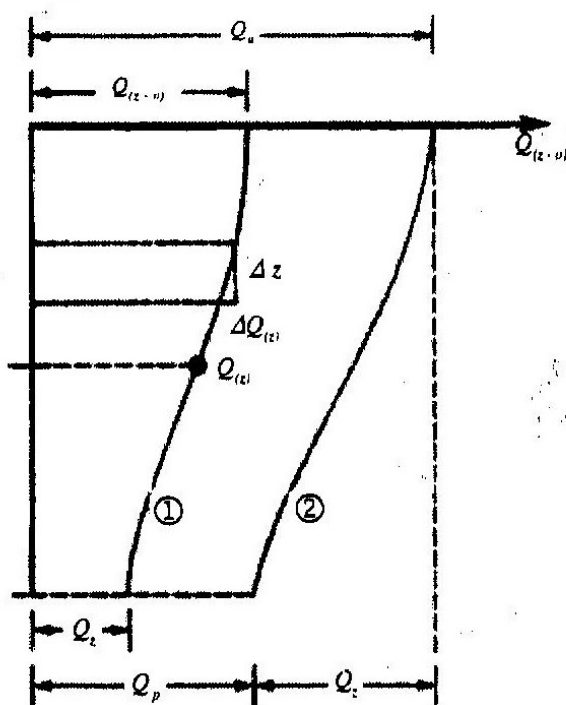
<sup>1</sup> Ditulis untuk Jurnal EMAS FT-UKI, Jakarta.

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil FT-UKI, Jakarta.



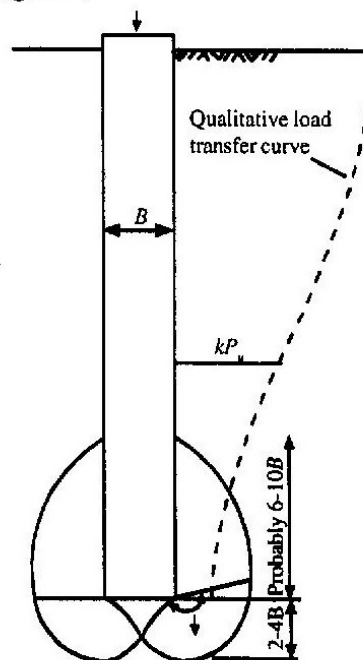
menguraikan daya dukung pondasi tiang atas dua komponen yaitu daya dukung ujung (*point bearing resistant*) dan daya dukung selimut (*shaft resistant*) tiang. Kendala yang dihadapi adalah data parameter tanah yang didapat umumnya tidak kontinu sehingga perlu justifikasi dalam menentukan parameter yang akan digunakan berdasarkan pengalaman secara empirik.

Formula lain yang dapat memberikan hasil daya dukung secara kontinu adalah dengan menggunakan metode peralihan beban dimana mekanisme yang terjadi adalah daya dukung selimut tiang yang akan termobilisasi lebih dulu sampai mencapai harga maksimum, setelah itu daya dukung ujung baru termobilisasi (gbr 1). Jadi kedua komponen daya dukung tersebut tidaklah berkerja secara bersamaan sebagaimana asumsi yang digunakan dalam analisis statik diatas.



Gambar 1. Mekanisme transfer beban

Untuk tiang pancang, umumnya daya dukung ujung baru termobilisasi setelah ujung tiang mengalami penurunan (*settlement*) sebesar 5-10 mm [Whitaker & Cooke (1966), Coyle & Reese (1966) serta AISI (1975)] atau 10% dari diameter tiang (Das, 1990). Pada beban ultimit, keruntuhan pada pondasi diakibatkan oleh kegagalan daya dukung ujung tiang pada zona keruntuhan segitiga di bawah tiang (gbr 2)



Gambar 2. Zona keruntuhan pondasi tiang

## 2. TUJUAN PENELITIAN

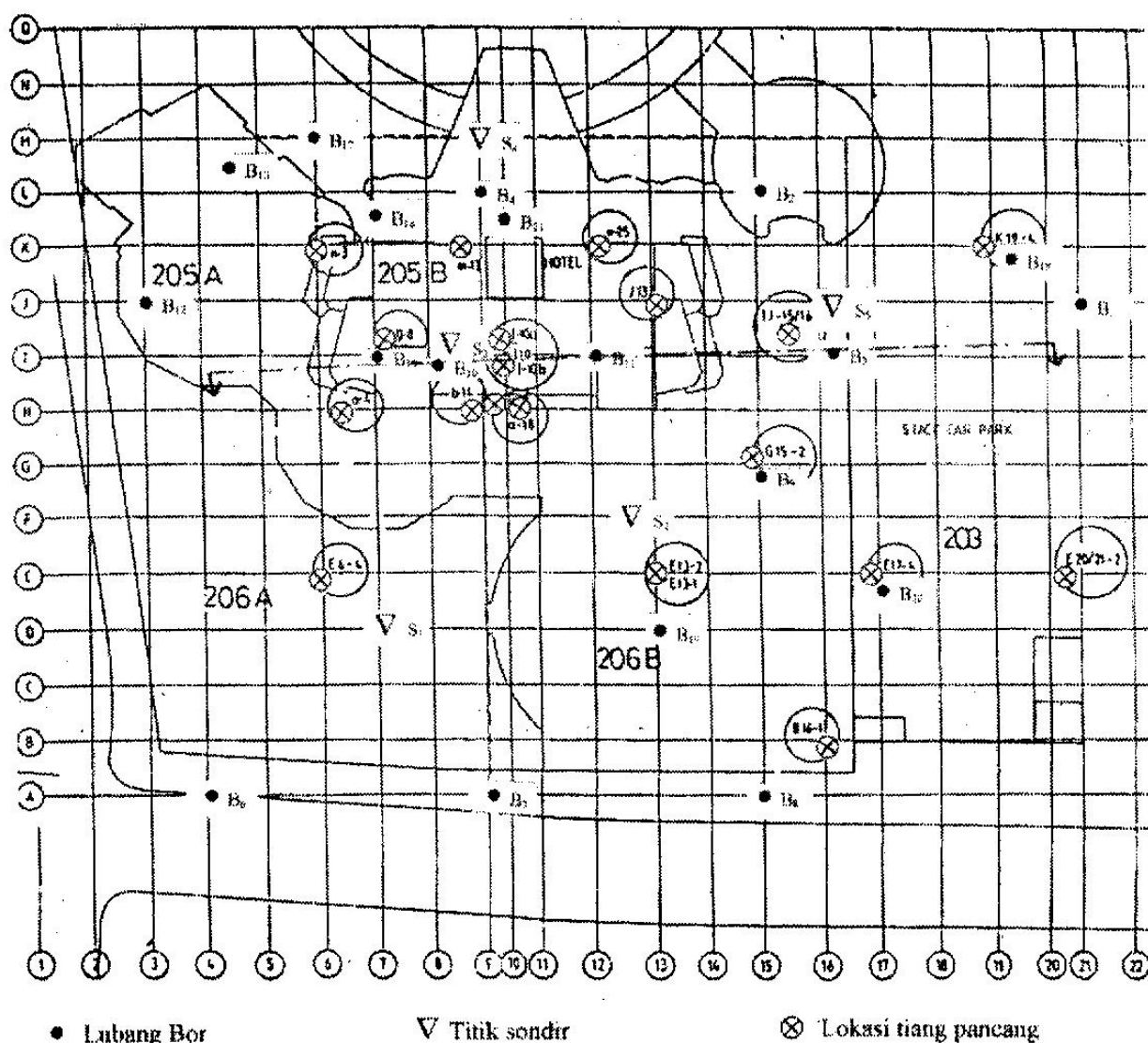
Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kurva peralihan beban yang terjadi pada tiang serta penurunan maksimum yang diizinkan untuk setiap peningkatan pembebanan serta membandingkan hasil analisa dengan metode statik yang ada dengan mengambil studi kasus pada proyek di daerah Tunjungan - Surabaya.

### 3. DESKRIPSI LOKASI PROYEK

Studi kasus yang digunakan adalah pada proyek Tunjungan Plaza yang berlokasi di jalan Embong Malang, Surabaya. Penyelidikan tanah yang telah dilakukan meliputi uji lapangan dan uji laboratorium. Stratifikasi tanah di lokasi tersebut dapat dilihat dari 25 bor log dengan kedalaman 25-40 m serta dilengkapi juga data NSPT dan pengambilan benda uji tidak terganggu (*undisturbed samples*). Uji laboratorium yang dilakukan

meliputi *indeks properties*, kuat geser serta kompresibilitas tanah. Selain itu juga dilakukan uji Sondir (CPT), Pressuremeter serta pengamatan tinggi muka air dari data Piezometer.

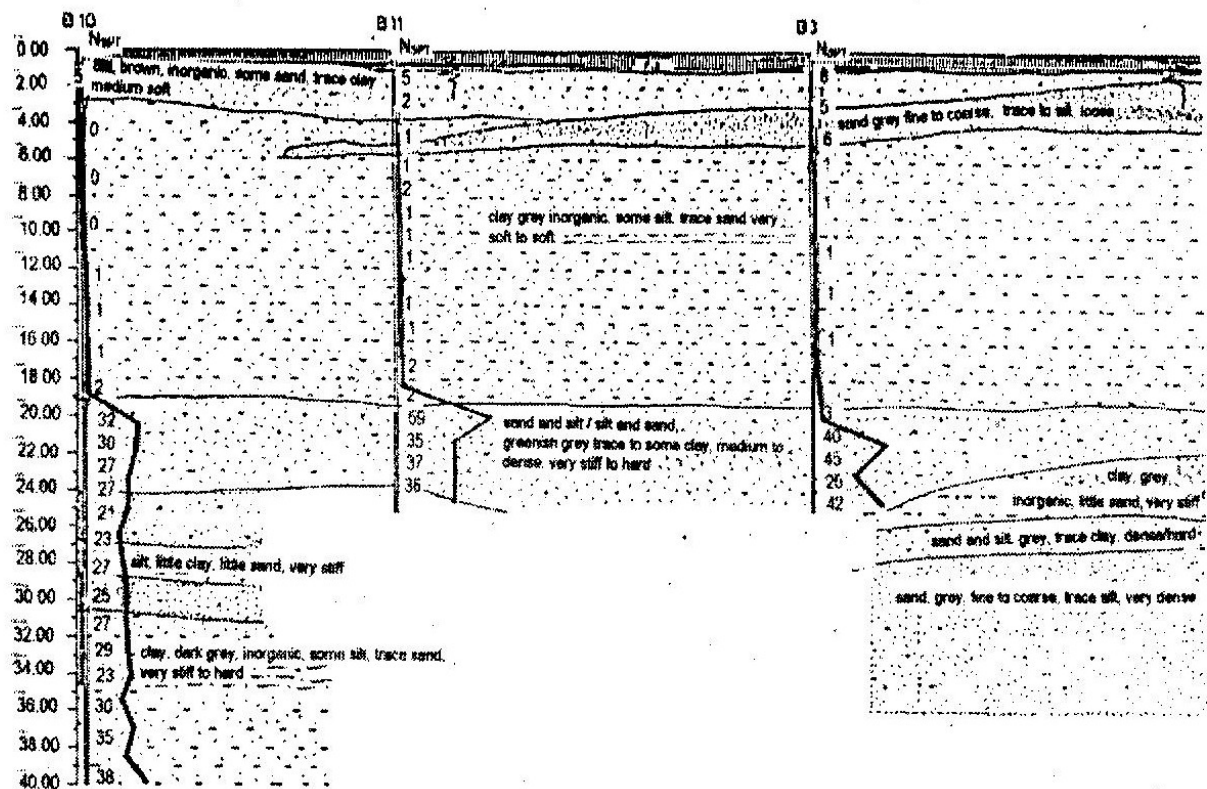
Selain itu juga dilakukan uji pembebanan di lapangan dengan cara statik sebanyak 8 buah untuk beban tekan dan 2 buah beban tarik serta pembebanan dengan cara dinamik (PDA) sebanyak 12 buah. Lokasi dari setiap titik pengujian dapat dilihat pada gbr. 3



Gambar 3. Lokasi uji lapangan

Secara keseluruhan, kondisi tanah pada proyek ini dapat dibagi atas 4 perlapisan tanah (gbr 4), yaitu:

- Pada bagian permukaan sampai kedalaman -4.0 m merupakan tanah lanau kepasiran dengan konsistensi soft sampai medium, dimana nilai SPT berkisar antara 1 sampai 6 dan qc berkisar antara 4.0 kg/cm<sup>2</sup> sampai 20.0 kg/cm<sup>2</sup>.
- Kondisi tanah pada proyek ini didominasi oleh tanah lempung berplastisitas tinggi dengan konsistensi very soft pada kedalaman -4.0 m sampai dengan -19.0 m dari permukaan tanah dengan nilai SPT mendekati 0 dan qc berkisar antara 2.0 kg/cm<sup>2</sup> sampai 8.0 kg/cm<sup>2</sup>.
- Sedangkan sampai kedalaman 27.0 m dijumpai tanah pasir dengan konsistensi medium sampai dense dimana nilai SPT berkisar antara 18 sampai 40 dan qc mencapai 200 kg/cm<sup>2</sup>.
- Sampai akhir lubang bor (-40.0 m) merupakan tanah lempung dengan konsistensi stiff sampai very stiff dimana nilai SPT berkisar antara 25 sampai 50 dan qc lebih dari 250 kg/cm<sup>2</sup>.



Gambar 4. Profil tanah dari lubang bor

#### 4. STUDI PARAMETER TANAH

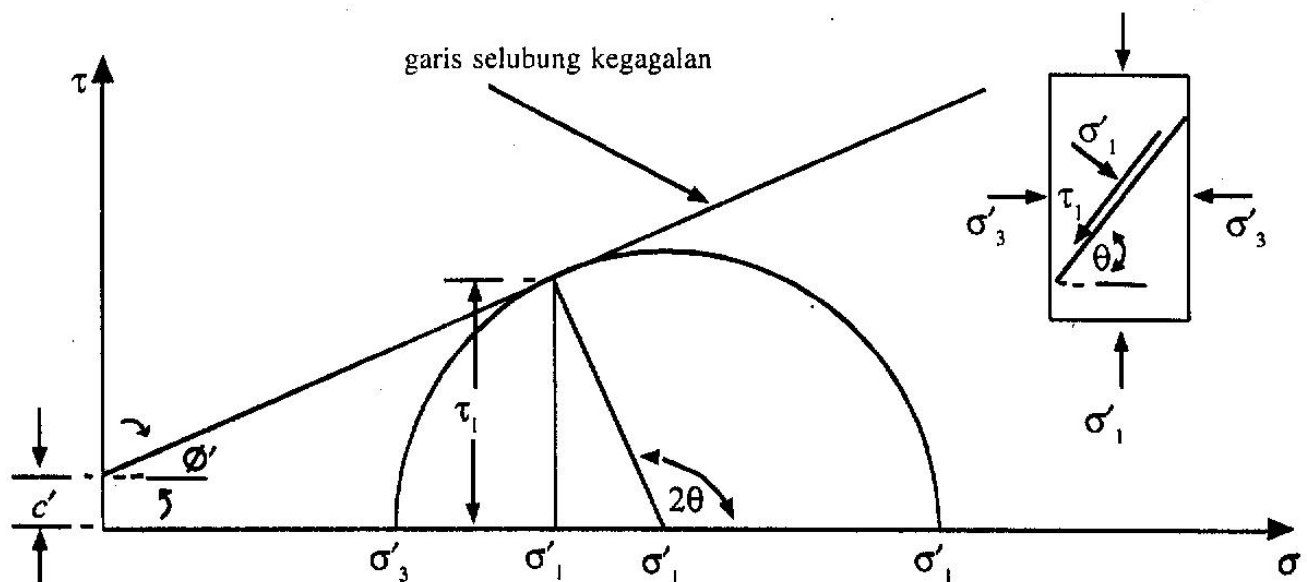
Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk menganalisa daya dukung tanah terhadap pondasi. Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Mohr (1910) memberikan teori mengenai kondisi keruntuhan suatu bahan akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser pada bidang keruntuhannya, yang dinyatakan menurut persamaan :

$$\tau = f(\sigma) \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan ini dikenal dengan bidang keruntuhan pada lingkaran Mohr-Coulomb (gbr 3) yang juga merupakan pengembangan teori gesekan dari Coulomb (1776) yang mendefinisikan fungsi  $f(\sigma)$  sebagai :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots (2)$$

dimana :  $\tau$  = kuat geser tanah  
 $c$  = kohesi tanah  
 $\sigma$  = tegangan normal pada bidang runtuh  
 $\phi$  = sudut gesek dalam tanah



Gambar 5. Bidang keruntuhan pada lingkaran Mohr-Coulomb

Tegangan-tegangan yang terjadi di dalam tanah juga dipengaruhi oleh tekanan air pori jika kondisi tanah jenuh air, sehingga Terzaghi (1925) mengubah rumus Coulomb dalam bentuk tegangan efektif sebagai berikut :

$$\tau = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \dots\dots\dots (3)$$

dimana :  $c'$  = kohesi tanah efektif  
 $u$  = tekanan air pori  
 $\phi'$  = sudut gesek dalam tanah efektif

Parameter sudut gesek dalam ( $\phi$ ) dan kohesi tanah ( $c$ ) ini sangat tergantung dari jenis pengujian yang dilakukan, baik di

laboratorium ataupun di lapangan. Berdasarkan penyelidikan tanah yang dilakukan pada tahap awal perencanaan, umumnya parameter  $c$  dan  $\phi$  yang di dapat dari uji laboratorium memberikan hasil yang agak bervariasi mengingat kondisi ideal pengujian laboratorium sulit tercapai di Indonesia, baik dari segi benda uji, alat uji ataupun proses pengujian, sehingga banyak penyederhanaan yang perlu dilakukan. Selain itu juga karena faktor ketidakpastian perlapisan tanah yang homogen menyebabkan hasil pengujian yang didapat untuk benda uji di tempat yang relatif berdekatan pada kedalaman yang sama bisa berbeda satu sama lain. Diperlukan pertimbangan khusus untuk menentukan parameter yang akan digunakan dalam analisis daya dukung tanah agar memberikan hasil perhitungan yang tepat.

Mengingat kondisi tanah yang tentunya tidak homogen sepanjang tiang, akan memberikan nilai  $\phi$  dan  $c$  yang berbeda pula sepanjang tiang. Besarnya sudut  $\phi$  sendiri bervariasi terhadap kedalaman, terutama pada bagian ujung bawah tiang yang akan mengalami peningkatan yang relatif besar akibat tumbukan saat pemancangan. Sedangkan jika tanah jenuh air, kohesi yang dominan pada tanah lempung akan tereduksi oleh peningkatan tegangan air pori akibat beban tumbukan yang relatif cepat, tetapi perlahan-lahan akan meningkat kembali akibat proses konsolidasi.

Dengan demikian perlu dibuat suatu grafik hubungan antara parameter hasil uji

laboratorium yang didapat terhadap kedalaman, sehingga dapat terlihat apakah grafik tersebut menunjukkan korelasi tertentu. Hasil yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan parameter kuat geser tanah yang diperoleh dari korelasi uji lapangan yang diturunkan oleh beberapa ahli geoteknik.

#### 4.1. Pada Tanah Pasir

Tanah pasir merupakan kelompok tanah non kohesif dimana kuat geser ditentukan oleh sudut gesek dalam. Kelebihan tekanan air pori akibat adanya beban yang bekerja diatas tanah pasir dalam kondisi jenuh adalah nol. Hal ini disebabkan tanah pasir mempunyai permeabilitas besar, sehingga saat terjadi peningkatan tegangan, air pori relatif cepat mengalir keluar tanpa menimbulkan tekanan yang berarti. Jadi, dapat dianggap bahwa kondisi pembebanan pada tanah pasir pada kondisi terdrainase (*drained*).

Karena tanah pasir bersifat kasar maka sudut gesek dalam akan bertambah besar jika tahanan geser tanah pasir bertambah. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat geser tanah pasir, antara lain :

- ukuran butir
- air yang terdapat diantara butirannya
- kekasaran permukaan butirannya
- angka pori atau kepadatan relatif (*relative density*)
- distribusi ukuran butir
- bentuk butiran
- tegangan utama tengah
- sejarah tegangan yang pernah dialami (*overconsolidation*)



Dari faktor-faktor diatas, yang paling besar pengaruhnya adalah angka pori karena akan berpengaruh terhadap kerapatannya. Bila angka pori rendah (kepadatan relatif tinggi) maka sudut gesek dalam akan tinggi. Pada tanah pasir yang memiliki kepadatan relatif sama tetapi gradasi berbeda maka pasir yang bergradasi lebih baik akan mempunyai sudut gesek dalam yang lebih besar. Ukuran butir, untuk pasir dengan angka pori yang sama tidak terlalu berpengaruh sehingga pasir halus dan pasir kasar dengan angka pori yang sama mungkin akan menghasilkan sudut gesek yang sama pula (Casagrande, 1936). Selain itu kondisi pasir basah umumnya memberikan nilai sudut gesek yang lebih rendah  $1^{\circ}$ -  $2^{\circ}$  lebih rendah dari tanah pasir kering.

Faktor lain yaitu pengaruh tegangan utama tengah ( $\sigma_2$ ) dimana penyelidikan yang dilakukan oleh Ladd et. al. (1977) bahwa sudut gesek dalam pada tanah pasir tidak padat yang diperoleh dari pengujian regangan bidang 2 dimensi (*plane strain*) lebih besar  $2^{\circ}$ -  $4^{\circ}$  dari hasil pengujian triaksial, sedangkan untuk pasir padat lebih besar  $4^{\circ}$ -  $9^{\circ}$ . Faktor tegangan yang pernah dialami oleh tanah pasir tidak begitu berpengaruh terhadap sudut gesek dalam tetapi mempengaruhi perilakunya terhadap penurunan (Lambrects & Leonard, 1978).

#### 4.2. Pada Tanah Lempung

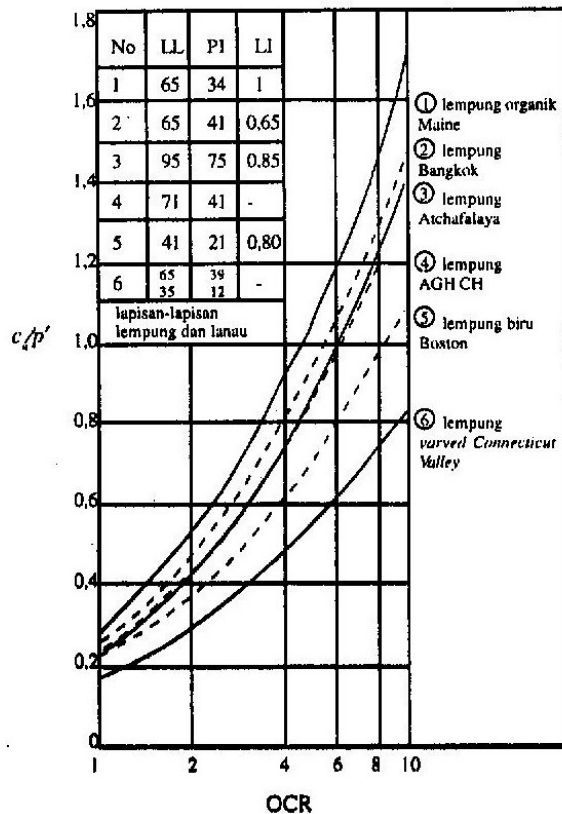
Lempung termasuk jenis tanah kohesif dimana kuat gesernya ditentukan oleh nilai kohesinya. Pada tanah lempung yang diuji

dalam kondisi terdrainase, perubahan volume yang berupa kompresi ataupun pelonggaran tak hanya tergantung pada kepadatan dan tegangan kelilingnya saja, tetapi juga pada sejarah pembebanannya (*stress history*). Demikian pula pada pembebanan tanpa drainase, nilai tekanan air pori sangat tergantung pada jenis lempungnya apakah terkonsolidasi normal (*normally consolidated*) atau terkonsolidasi berlebih (*over consolidated*). Kekuatan geser lempung tak terdrainase bertambah dengan kedalaman sehingga kenaikan kuat geser lempung sebanding dengan kenaikan tekanan efektif akibat beban diatasnya yang dikenal dengan *overburden pressure* ( $p'$ ). Pengamatan yang dilakukan oleh Skempton dan Henkel (1957) yang dikuatkan oleh Bjerrum (1954) menunjukkan bahwa nilai banding  $c_u/p'$  ini sangat berguna untuk pendekatan awal dan kontrol data di laboratorium

Untuk tanah lempung terkonsolidasi normal skempton (1957) memberikan korelasi antara kuat geser tak terdrainase dan indeks plastisitas untuk berbagai jenis lempung (gbr 6) sebagai berikut :

$$\frac{c_u}{p'} = 0.11 + 0.0037(PI) \dots\dots\dots (4)$$

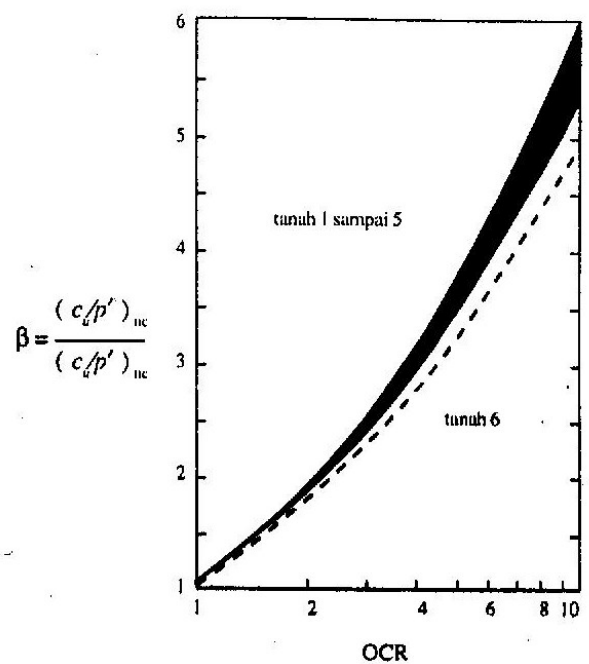
dimana:  $c_u$  = kuat geser tak terdrainase  
 $p'$  = tegangan efektif overburden  
 $PI$  = indeks plastisitas



Gambar 6. Hubungan antara  $c_u/p'$  dengan OCR (skempton, 1957)

Karlsson dan Vinberg (1967) juga memberikan hubungan antara  $c_u/p'$  dan batas cair (LL) sedangkan Ladd & Foott (1974) memberikan hasil percobaan untuk variasi  $c_u/p'$  dengan nilai banding *overconsolidated* (OCR) untuk 5 jenis lempung (gbr 7) dengan persamaan :

$$\beta = \frac{c_u / p'_{(overconsolidated)}}{c_u / p'_{(normally consolidated)}} \dots\dots\dots (5)$$



Gambar 7. Hubungan antara  $c_u/p'$  dengan OCR (Ladd & Foott, 1974))

#### 4.3. Parameter Disain

Dari hasil uji laboratorium untuk indeks properties tanah didapatkan hasil sebagai berikut :

- **Kadar air asli & berat volume tanah**

Lapisan lanau kepasiran yang berada di bagian permukaan memiliki kadar air kurang dari 50% dan pada bagian lempung lunak tanah bersifat menyerap air karena kadar air mendekati 90% sedangkan pada lapisan pasir yang cenderung kurang menyerap air kadar airnya juga kurang dari 50%. Berat volume tanah pada lapisan lanau dan pasir berkisar antara 1.4-1.8 t/m<sup>3</sup> sedangkan pada lapisan lempung lunak rata-rata sekitar 1.5 t/m<sup>3</sup>.

- **Kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ )**

Kuat geser tanah tak terdrainase memberikan hasil yang cukup baik untuk ditarik garis korelasi dimana pada lapisan lanau kepasiran yang diperkirakan merupakan tanah timbunan, memberikan kuat geser yang relatif besar, sedangkan pada lapisan lempung lunak kuat gesernya sangat kecil tetapi kemudian nilainya bertambah besar terhadap kedalaman.

Hal yang sama juga terjadi pada sudut gesek dalam dimana pada lapisan lanau kepasiran di permukaan

memberikan nilai sudut gesek yang relatif besar yaitu berkisar antara  $25^{\circ}$ - $35^{\circ}$ , tetapi pada lapisan lempung lunak memberikan nilai  $\phi$  yang sangat kecil yaitu antara  $3^{\circ}$ - $10^{\circ}$ , kemudian nilainya membesar kembali di lapisan pasir.

Karena nilai kuat geser tanah yang diberikan dari data uji laboratorium di atas sangat kecil sekali pada lapisan lempung lunak, maka parameter kuat geser tanah yang digunakan dalam perhitungan daya dukung tiang diambil dari korelasi empirik dengan hasil uji NSPT yang diberikan oleh Peck & Sowers, dimana hasilnya dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1. Parameter desain kuat geser tanah**

Tiang	Lubang bor	Lanau kepasiran		Lempung lunak		Pasir sedang – padat	
		$c_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (derajat)	$c_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (derajat)	$c_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (derajat)
J <sub>13</sub>	B <sub>3</sub>	0.60	–	0.13	–	–	36
E <sub>17-4</sub>	B <sub>8</sub>	0.17	–	0.13	–	–	37
U <sub>15-16</sub>	B <sub>3</sub>	0.50	–	0.13	–	–	36
I <sub>10</sub>	B <sub>10</sub> / B <sub>11</sub>	0.42	–	0.13	–	–	33
B <sub>14</sub>	B <sub>10</sub>	0.42	–	0.13	–	–	33
A <sub>18</sub>	B <sub>10</sub>	0.42	–	0.13	–	–	33
E <sub>6-4</sub>	B <sub>6</sub>	0.42	–	0.13	–	–	33.5
B <sub>16-1</sub>	B <sub>8</sub>	0.50	–	0.13	–	–	37

- **Angka Poisson ( $\nu$ ) dan Modulus Elastisitas tanah ( $E_u$ )**

Besarnya angka poisson diambil dari tabel 2 untuk setiap jenis lapisan tanah.

**Tabel 2. Perkiraan Nilai angka poisson tanah (Bowles, 1977)**

Macam tanah	$\nu$
Lempung jenuh	0.4 – 0.5
Lempung tak jenuh	0.1 – 0.3
Lempung berpasir	0.2 – 0.3
Lanau	0.3 – 0.35
Pasir padat	0.2 – 0.4
Pasir kasar	0.15
Pasir halus	0.25
Batu	0. – 0.4
Loess	0.1 – 0.3

Nilai  $E_u$  didapatkan dari korelasi uji SPT dan CPT (sondir) sebagai berikut :

- Untuk lapisan lanau pasir digunakan formula yang diberikan oleh Begemann (1974), sebagai berikut :

$$E = C(N + 6) \Rightarrow N < 15 \quad (6)$$

$$E = 40 + C(N - 6) \Rightarrow N > 15 \quad (7)$$

dimana nilai konstanta  $C$  bervariasi antara 3 ~ 12, untuk studi kasus ini digunakan  $C=8$  dan  $N$  adalah jumlah pukulan pada pengujian SPT yang belum dikoreksi.

- Untuk lapisan lempung lunak terkonsolidasi berlebih digunakan formula yang diberikan oleh Bachelier & Parez, 1965 untuk soft clay :

$$E = \alpha \cdot q_c \quad (8)$$

dimana  $q_c$  = tahanan ujung rata-rata pada sondir

- Untuk lapisan pasir digunakan formula yang diberikan oleh Mitchel & Gardner, 1975 untuk tanah pasir sebagai berikut :

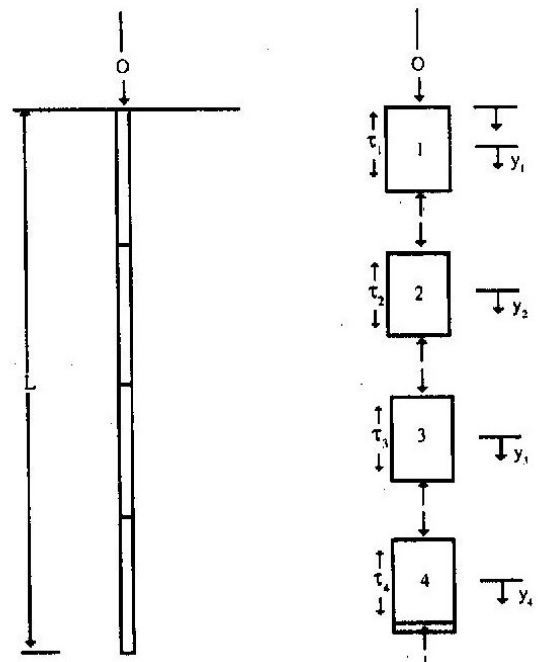
$$E = 10(N + 15) \quad (9)$$

dimana  $N$  = jumlah pukulan SPT

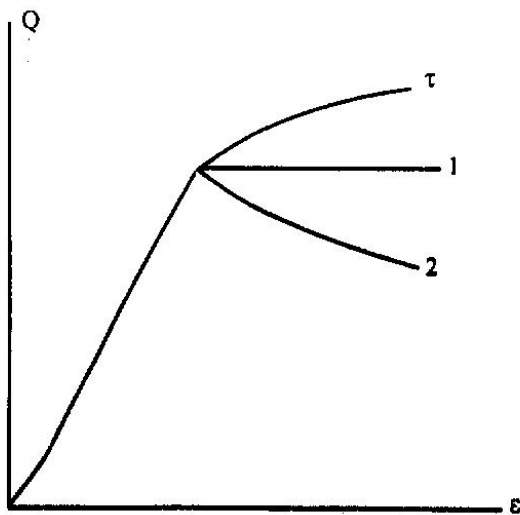
## 5. ANALISIS PERALIHAN BEBAN DENGAN PROGRAM TZ

Metode transfer beban didasarkan kepada mekanisme bahwa kepala tiang mengalami peralihan vertikal saat dibebani. Peralihan ini terjadi baik sebagai akibat perpendekan elastis tiang maupun penurunan ujung tiang (gbr 8).

Tanah mengalami perlawanan geser sepanjang selimut tiang dan tahanan ujung sesuai dengan penetrasi tiang ke dalam tanah. Besarnya perlawanan tersebut tergantung kepada karakteristik tegangan-deformasi tanah (gbr 9)



**Gambar 8. Peralihan beban sepanjang tiang**



Gambar 9. Diagram tegangan-regangan tanah

Untuk memulai perhitungan, tiang dibagi menjadi beberapa segmen dengan gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing segmen. Perhitungan akan dilakukan untuk menentukan besarnya beban dan defleksi pada kepala tiang dengan prosedur perhitungan sebagai berikut :

1. Tiang dibagi menjadi beberapa segmen.
2. Asumsikan pergerakan di kepala tiang sebesar  $y_1$ .
3. Tentukan beban pada ujung tiang tersebut ( $T$ ) akibat pergerakan sebesar  $y_1$  diatas. Hal ini dapat dilakukan misalnya dengan penurunan segera (*immediate settlement*) atau teori elastisitas Timoshenko.
4. Perkirakan pergerakan titik tengah segmen terbawah ( $y_n$ ). Untuk mula-mula dapat dianggap sama dengan pergerakan ujung tiang.
5. Dengan menggunakan pergerakan tersebut, kemudian baca kurva peralihan beban (kurva  $t-z$ ) terhadap *shear strength* untuk mendapatkan rasio tersebut. Nilai *shear strength* adalah sesuai dengan kedalaman yang

ditinjau. Jika digunakan data dari tiang berinstrumen, maka fungsi peralihan beban dapat langsung diperoleh dari hasil uji.

6. Dari langkah 5 dapat dihitung besarnya peralihan beban pada segmen paling bawah.
7. Berdasarkan transfer beban pada langkah diatas, maka beban  $Q_{n-1}$  pada segmen diatasnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$Q_n = T + \tau_n \cdot L_n \cdot p \quad (10)$$

dimana :  $Q_n$  = beban pada bagian atas segmen ke-n

$T$  = beban pada ujung bawah tiang

$\tau_n$  = friksi pada segmen ke-n

$L_n$  = panjang segmen ke-n

$P$  = keliling tiang

8. Hitung perpindahan elastis separuh panjang dari segmen paling bawah.

$$\Delta y_n = \frac{\frac{Q_{mid} + T}{2} \times \frac{L_n}{4}}{EA} \quad (11)$$

Nilai  $Q_{mid}$  ditentukan dari variasi linier untuk segmen pendek

$$Q_{mid} = \frac{Q_{n-1} + T}{2} \quad (12)$$

9. Hitung kembali pergerakan dari titik tengah segmen terbawah dengan

$$y_n = D y_n + y_{n-1} \quad (13)$$

10. Bandingkan nilai  $y_n$  pada langkah diatas dengan nilai  $y_n$  pada langkah ke-4. Bila perbedaannya melebihi suatu angka toleransi, ulangi lagi



langkah 4 sampai 9 dengan mengambil nilai  $y_n$  yang baru.

11. Perhitungan diatas dilakukan dengan cara yang sama untuk segmen-segmen diatasnya dengan mengambil peralihan ujung segmen mengikuti besarnya peralihan ujung yang telah ditentukan sebelumnya.

Dengan melakukan perhitungan berdasarkan beberapa perpindahan titik ujung tiang yang berbeda maka akan

diperoleh kurva hubungan antara beban dan penurunan di kepala tiang. Dengan cara analisis ini maka pada tiap tahap pembebanan dapat diketahui besarnya beban yang dialihkan pada masing-masing segmen tiang.

## 6. HASIL ANALISIS

Dari perhitungan yang dilakukan didapatkan besarnya daya dukung tanah ultimit sebagai berikut :

Tabel 3. Faktor koreksi perhitungan daya dukung dari formula statik.

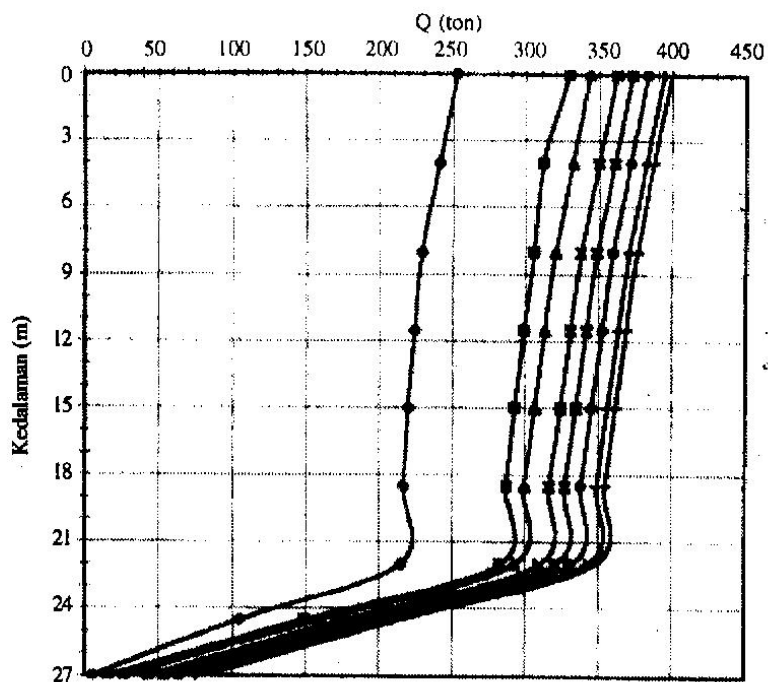
No. Tiang	Panjang tiang (m)	s (cm)	$Q_{ult}$ (ton) uji pembebanan lapangan	$Q_{ult}$			
				Korelasi empirik dg uji SPT	faktor koreksi	Parameter kuat geser tanah	faktor koreksi
J <sub>13</sub>			380	352	1.08	367	1.04
E <sub>17-4</sub>	27	0.07	320	403	0.79	361	0.87
IJ <sub>15-16</sub>	29	0.05	500	414	1.21	416	1.20
I <sub>10</sub>	27	0.07	500	266	1.88	321	1.56
B <sub>14</sub>	27	0.05	500	291	1.72	270	1.85
A <sub>18</sub>	25	0.54	460	258	1.78	263	1.75
E <sub>6-4</sub>	29	0.02	480	220	2.18	202	2.38
B <sub>16-1</sub>	26	0.39	230	417	0.55	287	0.80
faktor koreksi rata-rata					1.40		1.43

Faktor koreksi rata-rata perhitungan beban ultimit menggunakan formula statis dengan parameter kuat geser tanah adalah sebesar 1.40 sedangkan jika digunakan korelasi empirik dengan uji SPT adalah sebesar 1.43 sebagaimana dapat dilihat pada tabel 3.

Karena besarnya beban yang digunakan pada uji pembebanan lebih kecil dari beban ultimit tiang yaitu hanya sebesar 300 ton, maka perlawanan

ujung tiang belum sempat termobilisir sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa tiang merupakan *friction pile*, sehingga pengalihan beban pada selimut tiang memegang peranan yang sangat penting.

Untuk mengetahui perilaku tiang pada lapisan lempung lunak maka perlu dibuat peralihan beban sepanjang tiang (gbr 10) dan hasil distribusi tahanan ujung dan tahanan selimut tiang dapat dilihat pada tabel 4.

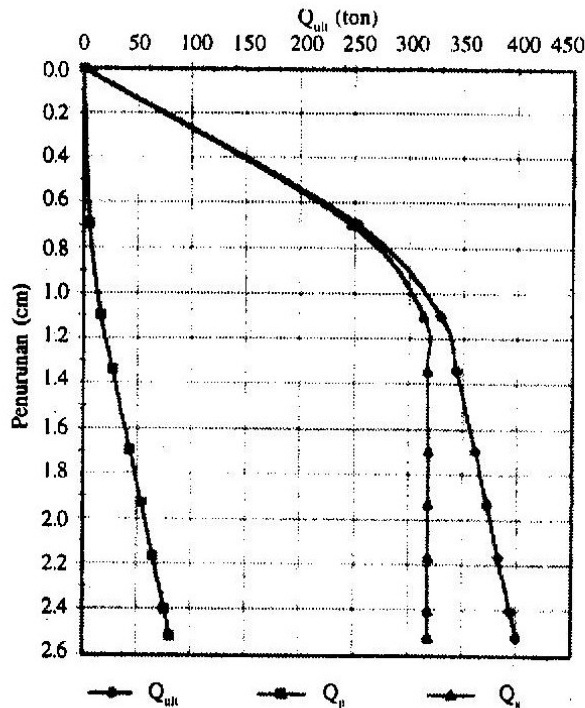


Gambar 10. Peralihan beban sepanjang tiang

Tabel 4. Distribusi tahanan ujung dan selimut tiang.

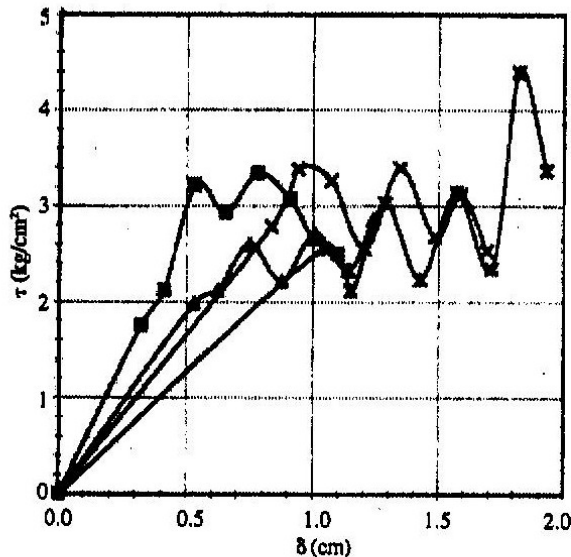
No. tiang	Progam TZ		Parameter tanah		Korelasi empirik	
	$Q_p$ (%)	$Q_s$ (%)	$Q_p$ (%)	$Q_s$ (%)	$Q_p$ (%)	$Q_s$ (%)
J <sub>13</sub>	12	88	30	70	55	45
IJ <sub>15-16</sub>	12	88	32	68	63	37
E <sub>17-4</sub>	12	88	27	73	58	42
B <sub>16-1</sub>	12	88	20	80	54	46
I <sub>10</sub>	10	90	17	83	55	45
A <sub>18</sub>	-	-	24	76	58	42
B <sub>14</sub>	11	89	34	66	79	21
E <sub>6-4</sub>	13	87	21	79	64	36
Rata-rata	12	88	26	74	61	39

Atau juga terlihat dari gbr 11 sebagai berikut :



Gambar 11. Beban ultimit ( $Q_{ult}$ ) vs penurunan tiang

Sehingga dapat dibuat kurva  $\tau$ - $\delta$  sebagai berikut :



Gambar 12. Kurva  $\tau$ - $\delta$  pada tiang pondasi

Terlihat bahwa respon tanah mulai berada dalam kondisi plastis pada penurunan sebesar  $\pm 1$  cm, sehingga pada saat uji pembebanan statis berlangsung dengan beban maksimal sebesar 300 ton, terjadi penurunan sebesar 0.9 cm yang berarti tanah masih dalam kondisi elastis.

## 7. KESIMPULAN

- Tiang pancang adalah *jenis friction pile* dengan beban ultimit yang dapat diterima dari hasil uji statik sebesar 400 ton yang didistribusikan sebesar 12% (48 ton) ke ujung tiang dan 88% (352 ton) sepanjang selimut tiang., berdasarkan hasil perhitungan transfer beban menggunakan teori Reese (program TZ).
- Prediksi berdasarkan analisis statik dengan parameter tanah memberikan hasil yang agak jauh yaitu 26% untuk ujung tiang dan 74% untuk selimut tiang dan dari korelasi uji lapangan sebesar 62% untuk ujung dan 38% untuk tahanan selimut.
- Peralihan beban sepanjang tiang menunjukkan bahwa tahanan selimut terbesar berada di lapisan pasir pada kedalaman 19.0-27.0 m, tetapi tahanan ujung yang diberikan justru sangat kecil. Sedangkan besarnya tahanan selimut pada lapisan lempung lunak dan lanau hanya berkisar 10%-15% dari lapisan pasir.
- Penurunan yang terjadi pada saat beban ultimit adalah sekitar 2.5 cm atau 5% dari diameter tiang,
- Tanah berada dalam kondisi plastis pada saat penurunan sekitar 1 cm.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bardet J.P.** (1997), *"Experimental Soil Mechanic"*, Prentice Hall, New Jersey.
- Bowles J.E.** (1988), *"Foundation Analysis and Design"*, Engineering Computer Software Inc., Illinois.
- Coduto D.P.** (1994), *"Foundation Design Principles and Practises"*, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Das B.M.** (1990), *"Principles of Foundation Engineering"*, 2nd edition, PWS-Kent Publishing Co., Boston.
- Hardiyatmo H.C.H.** (1994), *"Mekanika Tanah 1 & 2"*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hutabarat L.E.** (2000), *"Studi Perilaku Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Uji Statik & Dinamik (PDA) - Studi Kasus di Surabaya"*, Tesis Pasca Sarjana Unpar, Bandung.
- Lambe T.W. & R.V. Whitman** (1969), *"Soil Mechanics"*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Manual Pondasi Tiang** (1997), Pasca Sarjana Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Rahardjo P.P. & A. Kosasih** (1997), *"Performance of Driven Piles in Surabaya"*, Prosiding Seminar Pile'97, Pasca Sarjana Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.